独龙族传统代粮植物食用观音座莲的研究

路晓平[1,2]，程　卓[1,2]，龙春林[1,2,3*]

（1. 民族地区生态环境国家民委重点实验室（中央民族大学），北京　100081；2. 中央民族大学生命与环境科学学院，北京　100081；3. 民族医药教育部重点实验室（中央民族大学），北京　100081）

摘　要：食用观音座莲（*Angiopteris esculenta*）是独龙族（中国云南人口最少的少数民族）重要的野生代粮植物，其地下部分可用于加工蕨粉以制作食物。为深入调查、记录独龙族利用食用观音座莲的传统知识，解读独龙族食用该蕨类植物的科学内涵，该文采用民族植物学的方法对食用观音座莲相关的传统知识进行调查、记录，运用食品科学的方法对蕨粉的基本成分、形态、理化性质及糊化特性进行了深入探究。结果表明：（1）食用观音座莲在独龙族的传统生计中有多种用途，定量分析表明其食用用途的相对引用频率（RFC）远大于其他用途，说明食用是独龙族利用该植物最主要的方式。（2）独龙族使用传统方法采集食用观音座莲膨大叶柄基部和根茎加工并食用蕨粉具有深厚的科学内涵，表现在：蕨粉中富含淀粉，其总淀粉含量为86.2%，含有多种人体必需的矿物元素。（3）蕨粉相关理化性质优越，其中冻融稳定性和凝沉稳定性较强，可用于冷冻食品和淀粉产品的生产、加工；回生值和衰减值远低于常见淀粉，说明其具有良好的热糊稳定性和冷糊稳定性，且不易回生。该研究为食用观音座莲后续的加工利用提供了理论依据。总体来说，食用观音座莲蕨粉具有较大的开发利用潜能，通过人工栽培提高产量，有利于提高当地居民收入、促进偏远地区乡村振兴。

关键词：食用观音座莲，民族植物学，独龙族，代粮植物，传统知识，理化性质

中图分类号：Q949.9　　　　**文献标识码**：A　　　　文章编号：

Angiopteris esculenta, a traditional edible plant consumed by Dulong people

LU Xiaoping[1,2], CHENG Zhuo[1,2], LONG Chunlin[1,2,3,*]

(1. *Key Laboratory of Ecology and Environment in Minority Areas* (*Minzu University of China*),

---

基金项目：国家自然科学基金（31761143001，31870316）；生态环境部生物多样性调查评估项目（2019HJ2096001006）；中央民族大学交叉学科研究专项（2020MDJC03）（2020MDJC03）[Supported by the National Natural Science Foundation of China (31761143001, 31870316); Biodiversity Survey and Assessment Project of the Ministry of Ecology and Environment of China (2019HJ2096001006); Program for Cross-Disciplinary Studies of Minzu University of China (2020MDJC03)]。

作者简介：路晓平（1996-），硕士研究生，主要研究方向为民族植物学和生物资源保护与利用，（E-mail）luxiaop_1881@163.com。

***通信作者**：龙春林，博士，教授，研究方向为民族植物学、生物多样性和植物种质资源，（E-mail）long.chunlin@muc.edu.cn。

National Ethnic Affairs Commission, Beijing 100081, China; 2. *College of Life and Environmental Sciences, Minzu University of China*, Beijing 100081, China; 3. *Key Laboratory of Ethnomedicine (Minzu University of China), Ministry of Education*, Beijing 100081, China)

Abstract: *Angiopteris esculenta* is one of the most important wild substitutes for staple food in Dulong's communities (the least populated ethnic group in Yunnan Province, China) for centuries. For a long time, the Dulong people collect the underground parts of *A. esculenta* to extract flour and make into food. In order to study and record the traditional knowledge of *Angiopteris esculenta*, and reveal the scientific basis of this plant consumed by Dulong people, ethnobotanical methods were employed to investigate and document the traditional knowledge about *A. esculenta*. Approaches of food science were used to reveal the basic components, appearance, physical and chemical properties, and gelatinization characteristics of *A. esculenta* flour in the present paper. The results were as follows: (1) *A. esculenta* is a multipurposed plant in the traditional livelihood of Dulong people. Local people employed this plant for edible purpose, medicinal purpose, ornamental purpose and woody purpose. Quantitative analysis showed that the relative frequency of citation (RFC) of the edibleness was much higher than that of other uses, which shows its main way as staple food. (2) The traditional uses of fern flour extracted from the underground part of *A. esculenta* imply rationalities. There is high starch content in the flour, and the total starch content is 86.2%. *A. esculenta* flour contains various mineral elements necessary for human body. (3) The flour has good physical and chemical properties, specifically, the retrogradation and freeze-thaw stability are strong, which can be used in the production and process of frozen food and starch products. The regeneration value and attenuation value of starch were much lower than that of common starch, which indicated that it had good stability of hot paste and cold paste, and not easy to regenerate, thus imply the good processability in food industry. The research results of the physical and chemical properties provide a theoretical basis for the subsequent processing and utilization of *A. esculenta*. In conclusion, *A. esculenta* flour has a good potential for utilization and further development. It is expected to play a positive role for increasing local residents' income and for rural revitalization in remote areas, through the approaches of artificial cultivation.

Keywords: *Angiopteris esculenta*, ethnobotany, Dulong people, staple food, traditional knowledge, physicochemical properties of fern flour

蕨类植物具有重要的民间食用价值和悠久的利用历史（乔星和杨颖，2013），我国食用蕨类植物种类繁多，不仅可作营养美味的蔬菜，其加工后的淀粉也被用于制作羹汤、粉条或酿酒（Liu et al., 2012），如黄瓜香（荚果蕨，*Matteuccia struthiopteris*）、蕨菜（*Pteridium aquilinum*）等。地下根状茎和马蹄中淀粉含量较高的蕨类植物有食用观音座莲（*Angiopteris esculenta*）、福建观音座莲（*Angiopteris fokiensis*）、紫萁（*Osmunda japonica*）等。食用观音座莲是合囊蕨科观音座莲属植物，其植株高达 2.5 m，根状茎肥大，叶柄基部具托叶状附属物，并以关节和根状茎相连，硕大肉质的叶柄基部、根状茎经加工后可食用或提取淀粉。食用观音座莲

主要分布在云南省西北部的怒江上游河谷与独龙江河谷两岸的密林之中，是当地少数民族独龙族的长久利用的野生食用植物之一。独龙族是云南省人口最少的民族，主要聚居在云南省怒江傈僳族自治州贡山独龙族怒族自治县独龙江乡。独龙江地区属典型的高山峡谷地貌，山高谷深，沟壑纵横，地理环境极其封闭，粮食产量低，仅仅依靠作物种植不能满足当地人的生活需求，因此采集野生食用植物是当地独龙族人最重要的传统生计方式之一。食用观音座莲是独龙族旧时的重要代粮植物和主要食物来源，从其马蹄、根状茎中提取的蕨粉对于维持独龙族在粮食匮乏时期的粮食需求和保障区域粮食安全具有重要意义（龙春林等，1999）。

目前，野生食用植物资源的研究已经成为民族植物学领域的重要内容，引起了许多民族植物学家的关注，对于保护当地野生食用植物相关的传统知识以及促进野生食用植物资源的可持续利用具有重要意义（耿彦飞等，2015）。近年来国内开展了许多野生食用植物的民族植物学调查，主要集中在云南、内蒙古等少数民族地区（Luo et al., 2019; Wujisguleng & Khasbagen, 2010）。随着食品科学技术的发展以及人们对于膳食平衡的关注增加，野生食用植物的营养价值和化学成分分析逐渐成为新的研究方向。该类研究的营养价值分析为寻找与开发优良种质资源提供线索，有助于满足人们对于饮食多样性和膳食营养的需求（刘宇婧等, 2016; Xu et al., 2021）。从野生食用植物中获取的淀粉是重要能源物质，不仅为人体提供营养，还作为增稠剂、调和剂在食品或非食品工业中广泛应用（Zhou et al., 2019）。淀粉研究一般从基本成分、形态特征、溶解度、膨胀度、稳定性以及糊化特性等方面进行营养成分、理化性质及功能特性的多方面评价，以此作为加工利用的理论依据（Yang et al., 2019）。

随着经济的发展和生活水平的提高，独龙族已经实现整族脱贫，但是野生食用植物仍然是独龙族粮食来源的重要组成部分，具有很大的利用价值和开发潜力。独龙族利用食用观音座莲的传统知识是否科学合理，食用观音座莲蕨粉的成分、理化性质如何，这一野生蕨类资源是否具有开发利用的价值，本研究采用民族植物学以及植物科学的方法，调查、记录了独龙江地区独龙族利用食用观音座莲的传统知识，并对其蕨粉的基本成分和理化性质进行报道，揭示了独龙族传统食用植物食用观音座莲蕨粉的科学内涵，为进一步挖掘开发其利用价值、探究如何更好地保护以及为可持续利用野生食用植物资源提供理论依据。

1 研究地区与研究方法概况

1.1 研究地区

研究地点位于云南省怒江傈僳族自治州贡山独龙族怒族自治县的独龙江乡（27°40’~28°50’N、97°45’~ 98°30’E），全乡国土总面积 1 994 km²，是贡山县面积最大的乡，属于中缅交界处（Cheng et al., 2020）。在历史上，独龙江乡曾是我国最偏僻、最落后的地区之一。独龙江东岸是高黎贡山、西岸是担当力卡山，全乡地势呈“两山夹一江”的高山峡谷地貌。受孟加拉湾暖湿气流的影响，独龙江地区降水量在 2 932 ~ 4 000 mm 之间，为全国之最。该地区具有多样的立体气候，生物资源极其丰富。独龙族是我国为数不多的“跨境”“人口较少”“直过”的少数民族之一，主要聚居在独龙江乡，该乡独龙族人口为 6 930 人，占总人口的 99%（Cheng et al., 2020）。独龙族有着非常独特的传统文化，例如纹面、卡雀哇节、独龙毯的制作等。

1.2　研究方法

1.2.1　民族植物学方法

文献研究：考察之前，对研究地点的地方志、地图、植物志等典籍资料与文献进行收集、整理和分析（方琼等，2020），通过查阅与研究这些典籍和文献，对独龙江地区的自然条件与发展状况、独龙族的传统文化和风俗习惯及其利用野生食用植物的基本状况形成初步的了解，有助于对调查地点的确定。

实地考察：采用民族植物学野外调查的方法，对独龙江乡的马库村、巴坡村、献九当村、龙元村、孔当村、迪政当村进行实地考察，并且对关键人物（包括年长者、村干部、草医）等127位信息人进行访谈。利用关键人物访谈和半结构式访谈等方法，向当地人了解食用观音座莲的传统利用信息，包括采集方式、食用部位、加工方式以及其它用途等信息（刘怡涛和龙春林，2007；刘思朝等，2018；杨云卉等，2019）。

分类学鉴定：在野外考察的过程中采集植物标本，并且根据《中国植物志》、*Flora of China*等对凭证标本及其照片进行鉴定分析（周敏等，2019）。所采标本由中央民族大学生命与环境科学学院龙春林教授鉴定为合囊蕨科植物食用观音座莲（*Angiopteris esculenta*）。

定量分析：一个物种的某种用途在访谈中被提及的频率（frequency of citation，FC，即提到某用途的人数）占所有受访者人数的比例被称为相对引用频率（RFC）。通过计算食用观音座莲各类用途的相对引用频率（relative frequency of citation, RFC），分析其不同用途的重要性（Sujarwo & Caneva, 2016）。

1.2.2 食品科学研究方法

样品颗粒形貌分析方法：蕨粉表面微观结构用扫描电子显微镜（SEM）进行观察。样品颗粒的偏光十字用偏光显微镜进行观察。

基本成分的含量测定方法：淀粉含量测定按照《GB/T 20378-2006 原淀粉—淀粉含量的测定—旋光法》执行；膳食纤维含量的测定按照《GB5009.88-2014 食品安全国家标准食品中膳食纤维的测定》执行；粗蛋白、粗脂肪、水分含量的测定按照《GB18868-2002 饲料中水分、粗蛋白质、粗纤维、粗脂肪、赖氨酸、蛋氨酸快速测定近红外光谱法》执行；矿物元素含量采用感应耦合等离子体—质谱法（ICP-MS）测定，包括K、Ca、Na、Mg、Cu、Zn、Fe等元素；支链淀粉和直链淀粉含量测定按照《GB/T 15683-2008 大米直链淀粉含量的测定》执行。

淀粉的溶解度和膨胀度测定方法：参考寇芳等（2017）的方法进行测定。准确称取0.5 g样品于50 mL试管中，配成质量分数为2%的粗淀粉乳，分别在60 ℃、70 ℃、80 ℃和90 ℃混匀并加热30 min，快速冷却，然后在4000 $r\cdot min^{-1}$转速离心15 min，将上清液置于质量恒定的表面皿中，称量离心管中沉淀物质量，105 ℃烘干至质量恒定，并称沉淀物的质量。按照（1）式进行溶解度的测定，按照（2）式进行膨胀度的测定。

$$S=\frac{A}{W}\times 100\% \tag{1}$$

$$B=\frac{P}{W\times(100-S)}\times 100\% \tag{2}$$

式中：W为样品干基质量（g）；A为被溶解的淀粉质量（g）；P为沉淀物质量（g）。

淀粉的冻融稳定性测定方法：参考杜双奎等（2012）的方法进行测定。配制0.06 $kg\cdot L^{-1}$

的粗淀粉悬浊液，在震荡条件下快速加热到 95 ℃，保持 30 min 后冷却至室温。此时将其（呈凝胶状）置于 4 ℃下冷藏 24 h，再转至-6 ℃冷冻 24 h，取出。在室温下溶解 2 h，振荡 15 s，3000 r·min^{-1} 离心 20 min，弃去上清液，称取沉淀物质量。按（3）式计算析水率。

$$I = \frac{(m_1\text{-}m_2)}{m_1} \times 100\% \tag{3}$$

式中：I为析水率（%）；m_1为淀粉糊质量（g）；m_2为沉淀物质量（g）。

淀粉凝沉稳定性的测定：参考赵小梅等（2018）的方法进行测定（有改动）。配制质量分数 1%的粗淀粉悬浊液于沸水浴中加热糊化 15 min，此过程中注意保持淀粉糊的体积。将淀粉糊冷却至室温后转移至 100 mL 量筒中，使凹液面的刻度对准刻度 100。观测淀粉糊的分层及液面下降的高度，分别记录 1、4、16、24 h 时澄清液的体积以及淀粉糊总体积。凝沉性按公式（4）计算。

$$R = \frac{V_2}{V_1} \times 100\% \tag{4}$$

式中：R为凝沉性（%）；V_1为淀粉糊总体积（mL）；V_2为澄清液体积（mL）

淀粉的糊化特性分析：用快速黏度仪法，按照《GB24853-2010 小麦、黑麦及其粉类和淀粉糊化特性测定》执行：称取淀粉 3.0 g，加入去离子水，制备成质量分数为 6%的悬浮液。在搅拌过程中，罐内温度设置如下：50 ℃下保持 1 min；以 6 ℃·min^{-1} 的速率升温至 95 ℃；95 ℃下保温 5 min；在以 6 ℃·min^{-1} 的速率将温度降到 50 ℃后并保温 2 min。搅拌器在起始 10 s 内转动速度为 960 r·min^{-1}，之后保持在 160 r·min^{-1}。利用 RVA 自带分析软件得到峰值黏度、谷值黏度、崩解值、回生值、最终黏度、峰值时间、糊化温度等参数。

2 结果与分析

2.1 食用观音座莲的民族植物学调查

通过民族植物学调查，获得独龙族利用食用观音座莲的知识，包括食用、药用、观赏、材用等多方面用途（表 1），发现食用观音座莲在当地是一种文化重要性很高的植物。独龙族旧时缺衣少粮，食用观音座莲是当地人最主要的野生代粮植物之一。食用观音座莲的根状茎粗壮，叶柄基部膨大的附属物呈头状（俗称“马蹄”），直径可达 30～40 cm（图 1），独龙族从中提取蕨粉作为食物的做法由来已久。当地人把从地下挖出的马蹄状肉质膨大叶柄基部叫做“得不切”，将其剥皮后切成片状，在清水中浸泡 4～5 个小时后煮熟（煮不熟会发苦）。而后拌入火塘灰（有除毒去涩并软化食物的作用），用芭蕉叶裹上，放在篮子里。4～5 小时后将火塘灰洗去，煮熟后用纱布包起来压粉，就得到了食用观音座莲蕨粉。当地人将提取出来的蕨粉叫做“美能”，蕨粉可直接食用或用来烹制面食。与葛根等野粮相比，食用观音座莲的采挖更为简单便利，且不需要过多加工（杜星梅和陈庆德，2016）。

食用观音座莲不仅是重要的代粮植物，还具有一定的药用价值，当地人将其新鲜的地下部分捣碎后涂抹在皮肤上可治疗皮肤瘙痒。食用观音座莲叶簇生，叶片较长，呈二回羽状，叶柄为淡绿色，外形优美，可用于观赏、美化住所和环境。除此之外，食用观音座莲还具有绝佳的材用价值，独龙族人将其叶片收集起来用于煨酒，受访谈者表示能让当地酿造的酒更加醇香。

表 1 独龙族利用食用观音座莲的传统知识

Table 1 Traditional knowledge of *Angiopteris esculenta* used by the Dulong people

用途分类 Purpose	使用部位 Using part	具体用法 Specific usage	相对引用频率 RFC
食用价值 Edibleness	地下部分 Underground part	独龙族人从食用观音座莲根状茎及马蹄中提取蕨粉作为食物。The Dulong people extract fern flour from the rhizomes and thick petiole base of *A. esculenta* as food.	0.78
药用价值 Medicinal value	地下部分 Underground part	新鲜的地下部分捣碎后涂抹在皮肤上可治疗皮肤瘙痒。Fresh rhizome and thick petiole base can be mashed and applied to the skin to treat itchy skin.	0.06
观赏价值 Ornamental value	整株 Whole plant	食用观音座莲叶簇生，叶片较长，叶柄为淡绿色，外形优美。*A. esculenta* has long clustered leaves with a pale green petiole, which shows beautiful shape.	0.05
材用价值 Woody value	叶 Leaf	食用观音座莲的叶片可用于酒水的保温、存放。The leaves can be used to simmer and store liquor.	0.02

一个物种某种用途的相对引用频率（RFC）越大，说明该用途在当地的重要性越高。通过分析食用观音座莲各个用途的 RFC 值，可以看出食用观音座莲不同用途的 RFC 排序为：食用价值＞药用价值＞观赏价值＞材用价值，且食用价值的重要性远远大于其它价值。说明食用是独龙族利用食用观音座莲最主要的方式，食用观音座莲是当地人重要的代粮植物。



A.根茎的采挖；**B**、**C.** 根茎及膨大的马蹄。

A. Excavation of rhizome; **B**, **C.** Thick petiole base.

图 1 食用观音座莲

Fig.1 *Angiopteris esculenta*

2.2 蕨粉的化学组分及理化性质研究

民族植物学调查表明，食用观音座莲在独龙族传统生计中发挥了重要作用，其中对其食用价值的利用最为普遍。为了探究独龙族传统加工方式的科学性与食用观音座莲蕨粉的性质，本研究采用食品科学的方法，对其蕨粉的基本成分、矿物元素含量、直链淀粉和支链淀粉含量，溶解度、膨胀度等理化性质以及糊化特性等进行了深入研究。

2.2.1 基本成分分析 对食用观音座莲蕨粉中的基本成分进行检测，其中淀粉、膳食纤维、

粗蛋白、粗脂肪、水分和灰分的含量如表 2 所示。

由表 2 可知，食用观音座莲蕨粉具有较高的淀粉含量，达 86.2%，该值与蕨根粉 84.8%的淀粉含量值接近（张升晖等，2008），高于桄榔粉 57.78%的淀粉含量（沈钟苏等，2004）和红小豆 57.78%的淀粉含量(Koteswara et al., 2017);膳食纤维含量较低，只有 0.1 $g·(100g)^{-1}$，低于甘薯、西米、木薯、董棕等淀粉中膳食纤维含量（Grace & Henry, 2020）；粗蛋白含量为 0.42 $g·(100g)^{-1}$，该值和同为根茎类淀粉的马铃薯淀粉、蕨根淀粉、凉薯淀粉相比偏低（王颖等，2019；张升晖等，2008；朱仁威等，2019）；脂肪含量为 0.1 $g·(100g)^{-1}$，低于红薯、桄榔、马铃薯淀粉的脂肪含量（沈钟苏等，2004；杨继等，2009）；食品含水量是食品品质的一项重要指标，灰分含量有助于判断食品受污染的程度，食用观音座莲蕨粉中水分含量为 7.69 $g·(100g)^{-1}$，灰分含量为 0.18 $g·(100g)^{-1}$。

表 2 食用观音座莲蕨粉的基本成分

Table 2 Basic compositions of *Angiopteris esculenta* flour

指标 Indicator	含量 Content [g・$(100g)^{-1}$]
淀粉 Starch	86.2
膳食纤维 Dietary fiber	0.10
粗蛋白 Protein	0.42
粗脂肪 Fat	0.10
水分 Moisture	7.69
灰分 Ash	0.18

2.2.2 矿物元素分析 天然植物淀粉中的矿物元素可以为人们优化选用植物淀粉、平衡营养需求提供科学依据。本研究测定了食用观音座莲蕨粉中的 K、Ca、Na、Mg、Cu、Zn、Fe 的含量，结果如表 3 所示。

表 3 食用观音座莲蕨粉中部分矿物元素的含量

Table 3 Contents of some mineral elements in *Angiopteris esculenta* flour

矿物元素种类 Mineral element	含量 Content（$mg \cdot kg^{-1}$）
K	16199.40
Ca	3996.43
Na	31.18
Mg	971.31
Cu	19.60
Zn	43.63
Fe	135.61

由表 3 可知，食用观音座莲蕨粉中以上各元素含量差异较大，含量较为丰富的矿物元素有 K、Ca、Mg、Fe 等。其中，K 元素含量为 16 199.40 $mg \cdot kg^{-1}$，高于万灵薯（*Cynanchum auriculatum*）、甘薯（*Ipomoea batatas*）等根茎植物淀粉（杨继等，2009）；Ca 元素含量为 3 996.43 $mg \cdot kg^{-1}$，远高于蕨根、马铃薯（*Solanum tuberosum*）、甘薯等根茎植物淀粉（张升晖等，2008；杨继等，2009）。Fe 元素含量为 135.61 $mg \cdot kg^{-1}$，高于桄榔（*Arenga pinnata*）、马铃薯、甘薯等植物淀粉（沈钟苏等，2004；杨继等，2009）。K 元素是人体中不可缺少的常量化学元素之一，对维持心脏正常功能、细胞新陈代谢和神经传导功能有重要作用。Ca 元素在肌体运动、神经传达、体力恢复等多种生理过程中都有重要作用。食用观音座莲蕨粉中含有多种人体必需的矿物元素，因此可以在一定程度上改善膳食营养。

2.2.3 直链淀粉和支链淀粉 淀粉由直链淀粉和支链淀粉组成，直链淀粉含量是淀粉理化性质的最主要影响因素之一。食用观音座莲蕨粉中直链淀粉含量为 26.79%，与玉米淀粉中直链淀粉含量接近（表 4），高于马铃薯淀粉中直链淀粉含量（为 18.25%）（翟琨等，2008），

低于常见的小麦淀粉中28.30%直链淀粉含量（Gunaratne et al., 2016）。总的来说，食用观音座莲蕨粉中直链淀粉含量较高。研究表明，直链淀粉与支链淀粉的比值越高，淀粉的GI（Glycemic Index，用来描述食物的血糖生成指数）越低（Ding et al., 2021）。故食物中直链淀粉含量越高，越有助于控制血糖。因此和常见淀粉相比，食用观音座莲蕨粉具有一定的控糖作用，可用于营养更均衡、减慢血糖应答的低GI食品的开发。

表4 食用观音座莲蕨粉和一些常见淀粉中直链淀粉含量的对比

Table 4 Comparison of amylose contents between *Angiopteris esculenta* flour and some common starches

淀粉（蕨粉）种类 Different Starches (fern flour)	直链淀粉含量 Amylose content
食用观音座莲蕨粉 *A. esculenta* flour	26.79%
马铃薯淀粉 Potato starch	18.25%
魔芋淀粉 Konjac starch	13.22%
小麦淀粉 Wheat starch	28.30%
玉米淀粉 Corn starch	26.61%

2.2.4 淀粉颗粒形貌分析 食用观音座莲蕨粉颗粒在扫描电镜下的形态如图2所示。在光学显微镜下，可观察到样品颗粒大小不整齐，食用观音座莲蕨粉中除淀粉外，还含其他杂质，其中淀粉颗粒呈不规则的椭球形状，且表面粗糙。用电镜标尺对淀粉颗粒的粒径进行估测，其平均长度约为25～85 μm，平均宽度约为18～64 μm。

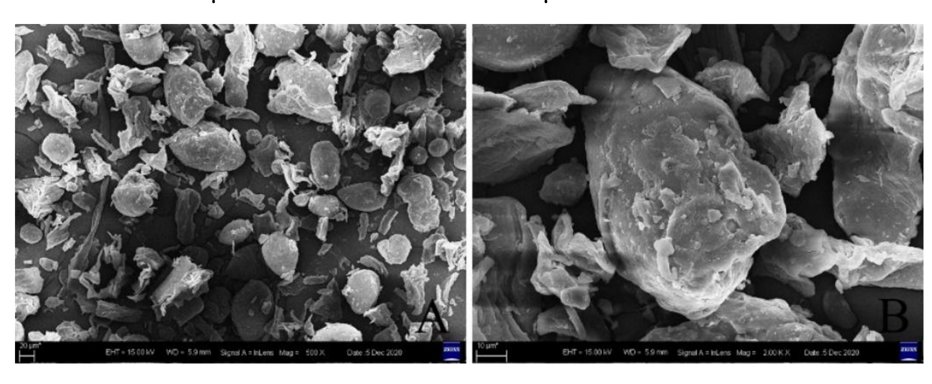


图2 **A** 食用观音座莲蕨粉颗粒的扫描电镜图（放大倍数分别为×500）；**B** 食用观音座莲蕨粉颗粒的扫描电镜图（放大倍数分别为×2 000）

Fig. 2 **A** Scanning electron micrographs of *Angiopteris esculenta* flour (×500); **B** Scanning electron micrographs of *Angiopteris esculenta* flour (×2 000)

天然淀粉颗粒属于球晶体系，在偏光显微镜下具有双折射性。在淀粉颗粒的脐点处有交叉的偏光十字，淀粉的这种现象证明了淀粉颗粒存在辐射状的组织结构。这是淀粉的一种特殊性质，不同种类淀粉粒的偏光十字的位置、形状和明显程度不同，可依此鉴别淀粉种类。如图3所示，食用观音座莲蕨粉在偏光显微镜下能够呈现明显的偏光十字。同时这一特点可说明该原粉中淀粉含量较高，因为如果原粉中其他物质较多，而淀粉含量低，则不易观察到

淀粉的偏光十字。

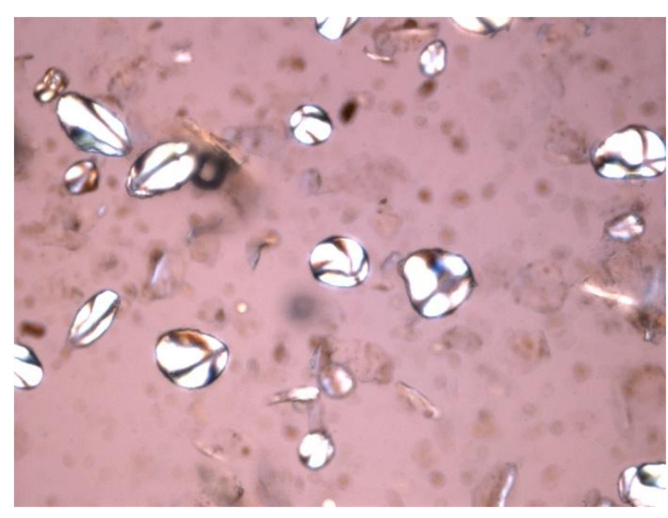


图 3　食用观音座莲蕨粉颗粒的偏光十字照片

Fig. 3　Polarization cross image of *Angiopteris esculenta* flour

2.2.5　溶解度和膨胀度　溶解度和膨胀度可以用来衡量淀粉颗粒的无定形区和结晶区中淀粉链之间的相互作用（Koteswarar et al., 2017）。溶解度反映了淀粉在膨胀过程中溶解的程度，膨胀度表示淀粉的持水能力（Lai et al., 2016）。支链淀粉分子通过吸水来增强淀粉糊化过程中的溶胀力，而直链淀粉倾向于抑制这一过程，直链淀粉和水溶性成分影响着淀粉溶解度的大小（Chen et al., 2020）。由图 4 可知，随着温度不断升高，食用观音座莲蕨粉的溶解度和膨胀度逐渐升高。从 60 ℃到 90 ℃的温度区间内，食用观音座莲蕨粉的溶解度从 7.6%上升至 12.6%，膨胀度从 6.6%上升至 8.4%。食用观音座莲蕨粉的溶解度接近于玉米淀粉的溶解度，可能和它们的直链淀粉含量相差不大有关。和马铃薯、红薯等淀粉相比，食用观音座莲蕨粉的溶解度和膨胀度均偏小，说明其溶胀能力一般。

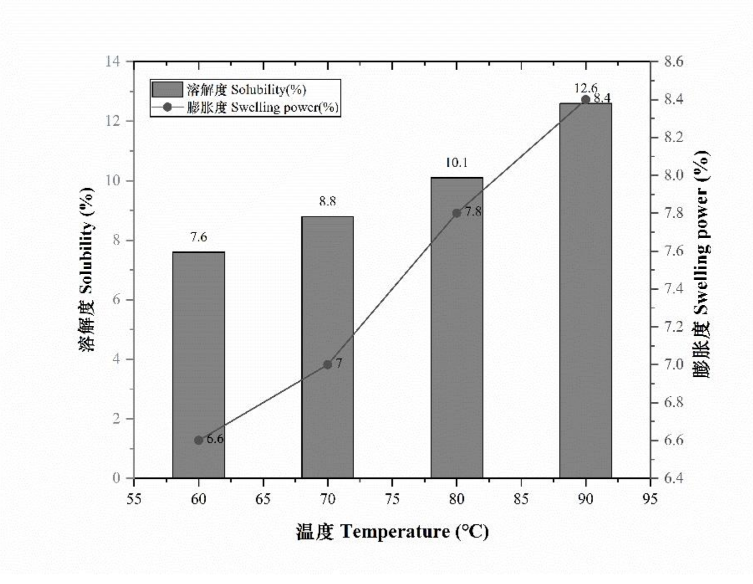


图 4　食用观音座莲蕨粉的膨胀度与溶解度变化趋势

Fig. 4　Tendency of swelling power and solubility of *Angiopteris esculenta* flour

2.2.6　冻融稳定性　即指乳液经受冻结和融化交替变化时的稳定性。冻融稳定性是衡量淀粉是否适合制作冷冻食品的重要指标，用析水率来表示，析水率越高，说明其冻融稳定性越差，反之越强。食用观音座莲蕨粉在冻融实验过程中的析水率为 42.8%，略高于西米（桄榔，*Arenga pinnata*）、董棕（*Caryota obtusa*）、甘薯等非传统淀粉（Grace & Henry, 2020），低于马铃薯、小麦、玉米等常见淀粉（Lawal et al., 2011）。因此，食用观音座莲蕨粉的冻融稳定性高于常见淀粉，适合用于冷冻食品的开发。

2.2.7　凝沉稳定性　淀粉糊经过一段时间后会逐渐分层沉淀，出现上方清液、下方沉淀的现象（即凝沉），凝沉稳定性越差，形成凝胶的能力越弱。淀粉的凝沉会影响淀粉糊及其凝胶的稳定性，不利于淀粉及富含淀粉产品的加工。淀粉凝沉速度快会导致淀粉加工产品易老化，影响食品品质。食用观音座莲蕨粉在不同凝沉时间下的凝沉性如图 5 所示，且随着凝沉时间的增加，蕨粉的凝沉性增加（图 5）。和马铃薯淀粉、小麦淀粉等常见淀粉相比（何海霞等，2020），食用观音座莲蕨粉的凝沉稳定性较强，因此可以认为食用观音座莲蕨粉糊及其凝胶的加工性能较高。

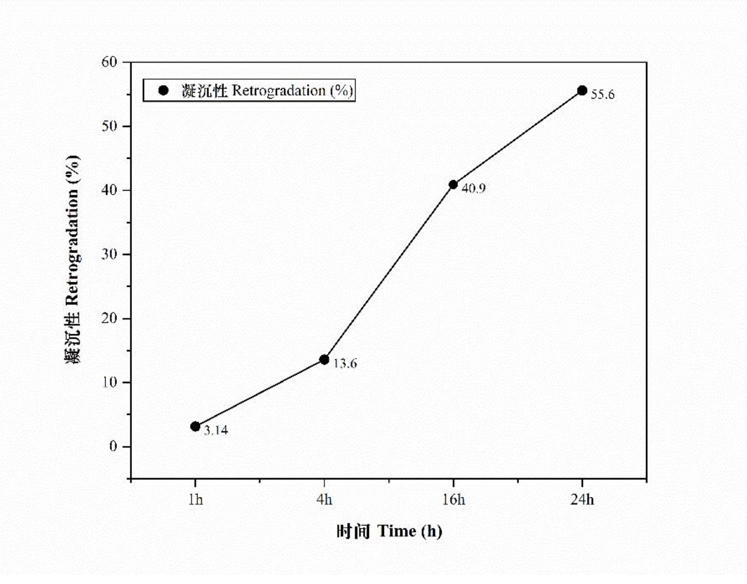


图 5　不同凝沉时间下食用观音座莲蕨粉的凝沉稳定性变化

Fig. 5　Tendency of retrogradation of *Angiopteris esculenta* flour

2.2.8　糊化特性分析　糊化特性曲线是一定质量浓度的淀粉溶液在加热、高温、冷却的过程中，淀粉糊的黏滞性发生一系列变化的过程曲线。食用观音座莲蕨粉的糊化特性曲线如图 6 所示。

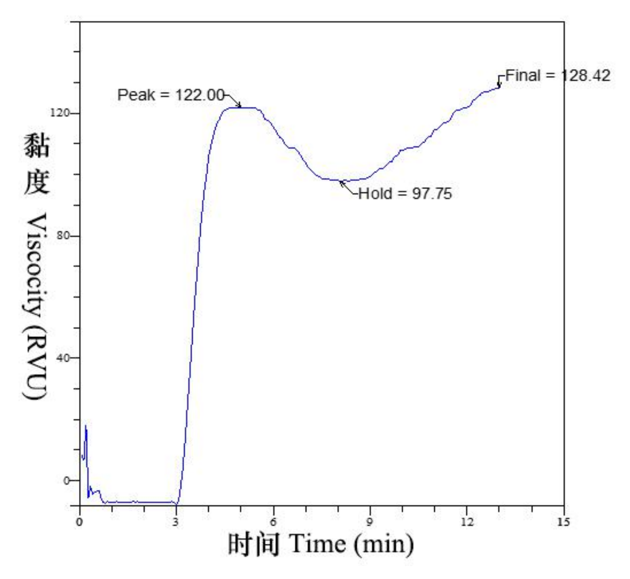


图 6　食用观音座莲蕨粉的糊化特性曲线

Fig.6　Gelatinization characteristic curve of *Angiopteris esculenta* flour

糊化特性是淀粉的重要流变性能之一，直接影响淀粉的加工性能和产品质量。根据 Brabender 黏度曲线（图 6）计算食用观音座莲蕨粉糊化过程中的特征值，其中峰值黏度、谷值黏度和最终黏度分别为 122、97.75、128.42 RVU，衰减值和回生值分别为 24.25 RVU 和 30.64 RVU，糊化时间为 5 min。食用观音座莲蕨粉的糊化温度为 75 ℃，峰值黏度为 122 RVU，最终黏度为 128.42 RVU，远低于莲藕淀粉、甘薯淀粉等常见淀粉糊化过程中的对应黏度值（刘敏等，2017; 张令文等，2021），说明食用观音座莲蕨粉糊化后的成糊和形成凝胶的能力较弱。直链淀粉含量是影响淀粉糊化特性的重要因素，研究表明直链淀粉含量越低，其峰值黏度越高（Chen et al., 2020），故食用观音座莲蕨粉的峰值黏度较低应和其较高的直链淀粉含量有关。回生值通常用于描述在冷却糊状淀粉时发生的黏度增加，衰减值和回生值分别反映了淀粉糊的热糊和冷糊的稳定性（Lawal et al., 2011；张豫辉和陆启玉，2015）。食用观音座莲蕨粉在糊化过程中的衰减值和回生值分别为 24.25 RVU 和 30.67 RVU，远远低于常见淀粉，如绿豆、大米、小麦等（周小理等，2009）。故食用观音座莲蕨粉具有很好的热糊稳定性和冷糊稳定性，这可能是由于食用观音座莲蕨粉中直链淀粉含量较高，直链淀粉会与脂类形成对热稳定的复合体，这种复合体可抑制糊化或膨润（姚月华等，2020）。

3　结论与讨论

独龙族一直是一个以采集、捕鱼、狩猎和刀耕火种为生的少数民族，因其特殊的地理环境和相对闭塞的交通条件，对自然资源的依赖性较大。食用观音座莲作为独龙族旧时的一种重要代粮植物，在保障独龙族人们粮食安全方面具有重要意义。在全面脱贫背景下，依靠国家大力帮扶和自身不懈努力，独龙族人的物质生活已得到极大改善，但是当地人千百年来与自然相处的生存智慧和积累的丰富传统知识应在新时代继续体现其独有的价值。本研究聚焦于独龙族的重要代粮植物食用观音座莲，调查、记录了与之相关的传统知识，发现食用观音座莲的食用、药用、观赏等多方面的用途，其中食用是其最重要的利用方式。通过对食用观

音座莲蕨粉的基本成分和理化性质进行研究，对独龙族食用蕨粉的科学内涵进行重点阐释，结果表明：食用观音座莲蕨粉中的淀粉含量较高；膳食纤维、粗脂肪、粗蛋白含量分别为 0.1、0.42、0.1 g·(100g)$^{-1}$；具有良好的冻融稳定性，适用于冷冻食品的生产加工；和常见淀粉相比，食用观音座莲蕨粉具有良好的热稳定性，故适用于对温度要求较高的产品加工；且不易老化，有良好的加工适宜性，该特点也有助于保持食物本身的口感。因此，食用观音座莲蕨粉具有较大的开发潜力。

随着市场经济的发展，人们对一些蕨类植物进行的采摘、加工与销售已有一定规模甚至发展成为产业，如湖南张家界地区的蕨根粉，不仅深受当地居民的喜爱，还制作出成品以较高的价格进行销售，成为当地出口创汇的重要土特产（曹清明等，2007）。不过，对食用观音座莲蕨粉的利用还停留在传统方式上，缺乏精深加工和科学研究。食用观音座莲的开发利用可以借鉴前人在蕨类植物尤其是蕨根粉开发利用方面的成功经验（李佑稷等，2002；谭榀等，2014），例如：以其蕨粉为主要原料，经挤压膨化，配以芝麻、黄豆、砂糖等辅料，加工成即食蕨粉羹，作为一种易消化、营养丰富的新型方便食品推向市场；从食用观音座莲根状茎中提取的蕨粉还可以用于蕨根饮料的加工，或以含水量较高的新鲜马蹄为原料，经过科学配方，有望研制出清爽可口的保健饮料；以原粉或原汁为原料，加入酵母、白砂糖、柠檬酸等进行发酵，制成风味独特的保健酒；还可以蕨根为主要原料，添加白砂糖、柠檬酸、香精等经调配、过滤、浓缩、干燥、灭菌等工序制成泡腾片或保健冲剂，方便携带，易于储存。鉴于食用观音座莲蕨粉的溶胀能力一般，增稠性不强，在后续加工过程中应考虑相关工艺的优化以提高其加工性能，如和其它高黏度的淀粉混合使用。总之，食用观音座莲具有多个开发利用方向，但其有效开发还需要一系列的科学实验进行加工工艺和最佳配方的摸索。本研究中关于食用观音座莲蕨粉基本成分的指标及理化性质分析可作为加工工艺的参考和品质评价的依据。

野生食用植物资源在维持发展中国家偏远社区的粮食安全以及平衡饮食营养价值方面起着十分重要的作用（Siddique et al., 2021）。我国是植物多样性最丰富的国家之一，野生食用植物资源种类繁多，储量丰富，很多尚处于待开发状态。独龙江地区恶劣的自然条件和闭塞的交通状况使得独龙族非常依赖野生食用植物来保证其粮食安全。有文献报道，独龙族食用的野生植物多达上百种，其中有很大一部分是能代替粮食的产淀粉类植物，这些植物不仅是重要的代粮植物，而且可以为当地社区创造经济价值。通过对独龙族传统食用植物食用观音座莲蕨粉进行研究，结果表明食用观音座莲作为一种传统代粮植物曾被当地人广泛利用有一定的科学依据。在不断强调粮食安全问题的背景下，食用观音座莲作为一种野生食用植物资源，其地下部分富含大量淀粉，具有低脂、稳定性高、口感保持度好等优点，具有开发成新型健康食品的潜力。另外，食用观音座莲是滇西北的特有种，仅分布在怒江上游河谷内（Chen et al., 2010）。因此在对该野生蕨类资源的开发利用过程中，应做到有节制地采挖、可持续地利用野生植物资源（李利霞等，2014）。另外，鉴于蕨类植物的种植极少占用或不占用耕地，易于管理（曹清明等，2007），可通过人工栽培，特别是在天然林下种植，既提升其产量，又不破坏植被，能作为独龙族食物和淀粉的补充来源。因此，应鼓励开发这一蕨类植物资源并对其进行合理地采摘及栽培，实施综合开发利用，开发具有独龙江流域特色的蕨类产品，用以提高偏远地区居民经济收入。该研究不仅为可持续利用野生植物尤其是蕨类

植物资源提供理论支持，而且为独龙族地区的产业发展和乡村振兴提供科学依据。

参考文献：

CAO QM, ZHONG HY, LI ZH, et al., 2007. Exploitation and utilization study of fern starch in China[J]. Food Res Dev, 28(12): 168-171. [曹清明，钟海雁，李忠海，等，2007. 我国蕨淀粉资源的综合开发利用[J]. 食品研究与开发，28(12)：168-171.]

CHEN XY, SHAO SS, CHEN MX, et al., 2020. Morphology and physicochemical properties of starch from waxy and non-waxy barley[J]. Starch-Stärke, 72(5-6): 1900206.

CHEN YG, TAO YY, LIAN X, et al., 2010. Chemical constituents of *Angiopteris esculenta* including two new natural lactones[J]. Food Chem, 122(4): 1173-1175.

CHENG Z, LUO BS, FANG Q, et al., 2020. Ethnobotanical study on plants used for traditional beekeeping by Dulong people in Yunnan, China [J]. J Ethnobiol Ethnomed, 16, 61.https://doi.org/10.1186/s13002-020-00414-z.

DING Y, WANG M, SHEN Y, et al., 2021. Physiochemical properties of resistant starch and its enhancement approaches in rice[J]. Rice Sci, 28(1): 31-42.

DU SK, WANG H, NIE LJ, 2012. Physicochemical properties of kidney bean starches[J]. J Chin Cereals Oils Assn, 27(8): 31-35. [杜双奎，王华，聂丽洁，2012. 芸豆淀粉理化特性研究[J]. 中国粮油学报，27(8)：31-35.]

DU XM, CHEN QD, 2016. Gathering economy from the prospective of economic anthropology: A case study from Dulong River Gorge[J]. Ethno-national Stud, (1): 75-85. [杜星梅，陈庆德，2016. 经济人类学视野中的采集经济——来自独龙江峡谷的调查与分析[J]. 民族研究，(1): 75-85.]

FANG Q, HU RC, CHENG Z, et al., 2020. Ethnobotanical study on plants for medicinal bath among the Yao ethic group in Jianghua, Hunan[J]. Guihaia.http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q.20200701.0757.006.html. [方琼，胡仁传，程卓，等，2020. 湖南江华瑶族药浴植物的民族植物学研究[J/OL]. 广西植物，http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q.20200701.0757.006.html.]

GENG YF, YANG Y, ZHANG Y, et al., 2015. Research Development of food plant ethnobotany—bibliometric and mapping knowledge domains analysis based on Web of Science[J]. Plant Divers Resour, 37(4): 479-490. [耿彦飞，杨雅，张宇，等，2015. 食用植物民族植物学研究进展——基于 Web of Science 文献计量与知识图谱分析（英文）[J]. 植物分类与资源学报，37(4): 479-490.

GRACE N C F, HENRY C J, 2020. The physicochemical characterization of unconventional starches and flours used in Asia[J]. Foods, 9(2): 182.

GUNARATNE A, WU K, COLLADO L, et al., 2016. Physicochemical and functional properties of *Caryota urens* flour as compared to wheat flour[J]. Int J Food Sci Tech, 51(12): 2647-2653.

KOTESWARAR C, LUAN F, XU B J, 2017. Morphology, crystallinity, pasting, thermal and quality characteristics of starches from adzuki bean (*Vigna angularis* L.) and edible kudzu (*Pueraria thomsonii* Benth.)[J]. Int J Bio Macromol, (Pt 1): 354-362.

KOU F, KANG LJ, XIA TT, et al., 2017. Effect of dominant microorganisms isolated from naturally fermented millet on the physicochemical properties of millet starch[J]. Food Sci, 38(10): 61-65. [寇芳，康丽君，夏甜天，等，2017. 自然发酵优势菌对小米淀粉物化性质的影响[J]. 食品科学，38(10): 61-65.]

LAI YC, WANG SY, GAO HY, et al., 2016. Physicochemical properties of starches and

expression and activity of starch biosynthesis-related genes in sweet potatoes[J]. Food Chem, 199(PP): 556-564.
LAWAL O S, LAPASIN R, BELLICH B, et al., 2011. Rheology and functional properties of starches isolated from five improved rice varieties from West Africa[J]. Food Hydrocolloid, 25(7): 1785-1792.
LI LX, ZHAO HT, SONG PL, et al., 2014. Research and protection on rare and endangered species of Lycophytes and Ferns in Guizhou[J]. Northern Hortic, 2014(19): 87-90. [李利霞，赵厚涛，宋培浪，等，2014. 贵州珍稀濒危石松类及蕨类植物调查研究[J]. 北方园艺，2014(19): 87-90.]
LIU M, DAI YY, BI JY, et al., 2017. Effect of konjac gum on pasting and rheological properties of lotus root starch[J]. Food Ferment Ind, 43(7): 109-114. [刘敏，代曜伊，毕家钰，等，2017. 魔芋胶对莲藕淀粉糊化和流变特性的影响[J]. 食品与发酵工业，43(7)：109-114.]
LIU SZ, ZHANG BX, LEI QY, et al., 2018. Traditional Dong medicinal plants on Kaili market, Guizhou, China[J]. Guihaia, 38(11): 1522-1533. [刘思朝，张贝西，雷启义，等，2018. 贵州凯里药市的侗族药用植物[J]. 广西植物，38(11)：1522-1533.]
LIU YT, LONG CL, 2007. Ethnobotanical studies on the edible flowers in Lahu Societies[J]. Guihaia, 27(2): 203-210.[刘怡涛，龙春林，2007. 拉祜族食用花卉的民族植物学研究[J]. 广西植物，27(2)：203-210.]
LIU YJ, FU WG, CAI ZP, et al., 2016. Analysis of nutritive components and heavy metals in *Colocasia gigantea*[J]. Food Res Dev, 37(21): 119-122. [刘宇婧，付为国，蔡哲平，等. 大野芋营养成分分析与重金属检测[J]. 食品研究与开发，37(21)：119-122.]
LIU YJ, WUJISGULENG W, LONG CL, 2012. Food uses of ferns in China: a review[J]. Acta Soc Bot Pol, 81(4): 239-244.
LI YJ, SONG ZJ, YANG GL, et al., 2002. Study on technology of fern root beverage[J]. Food Ferment Ind, 28(8): 45-48. [李佑稷，宋智娟，杨谷良，等，2002. 蕨根饮料的工艺研究[J]. 食品与发酵工业，28(8)：45-48.]
LONG CL, LI H, ZHOU YL, et al., 1999. Ethnobotanical studies in Gaoligong Mountains: Ⅱ. The Dulong ethnic group[J]. Acta Bot Yunnanica, (S1): 137-144. [龙春林，李恒，周翊兰，等，1999. 高黎贡山地区民族植物学的初步研究Ⅱ. 独龙族[J]. 云南植物研究，(S1)：137-144.]
LUO BS, LIU B, ZHANG HZ, 2019, et al., Wild edible plants collected by Hani from terraced rice paddy agroecosystem in Honghe Prefecture, Yunnan, China [J]. J Ethnobiol Ethnomed, 15(1): 56.
QIAO X, YANG Y, 2013. Research progress in edible ferns in China[J]. Sci Tech Food Ind, 34(10): 375-380. [乔星，杨颖，2013. 中国食用蕨类植物研究进展[J]. 食品工业科技，34(10)：375-380.]
SHEN ZS, CHEN QB, CHEN DB et al., 2004. Study on physical and chemical characteristics of *Arenga pinnata* starch[J]. Food Sci, 25(9): 46-49. [沈钟苏，陈全斌，陈定奔，等，2004. 桄榔淀粉的理化性质研究[J]. 食品科学，25(9)：46-49.]
SIDDIQUE K, LI X, GRUBER K, 2021. Rediscovering Asia’s forgotten crops to fight chronic and hidden hunger[J]. Nat Plants, 7(2): 116-122.
SUJARWO W, CANEVA G, 2016. Using quantitative indices to evaluate the cultural importance of food and nutraceutical plants: Comparative data from the Island of Bali (Indonesia)[J]. J Cult Herit, 18: 342-348.
TAN L, XUE JH, LIANG JM, et al., 2014. Research on formula of fern root powder seasoning

with hot and sour flavor[J]. China Condiment, 39(9): 80-83+86. [谭槅，薛建华，梁建明，等，2014. 酸辣味方便蕨根粉调味料的配方研究[J]. 中国调味品，39(9)：80-83+86.]

WANG Y, WANG X, GUO N, 2019. Analysis of components in potato and functional properties of potato starch[J]. Biotechnol, 29(6): 600-604. [王颖，王雪，郭娜，2019. 马铃薯成分分析及其淀粉功能特性探究[J]. 生物技术，29(6)：600-604.]

WUJISGULENG W, KHASBAGEN K, 2010. An integrated assessment of wild vegetable resources in Inner Mongolian Autonomous Region, China [J]. J Ethnobiol Ethnomed, 6(1): 34.

XU L, WANG YZ, JI YY, et al., 2021. Nutraceutical study on *Maianthemum atropurpureum*, a wild medicinal food plant in northwest Yunnan, China[J]. Front Pharmacol, 12: 710487.

YANG J, LU ZM, LU GQ et al., 2009. Analysis of mineral elements content in several root and tuber plants[J]. Sci Tech Food Ind, 30(5): 312-314. [杨继，陆智明，陆国权，等，2009. 几种特色根茎植物的矿物质成分分析[J]. 食品工业科技，30(5)：312-314.]

YANG QH, ZHANG WL, LUO Y et al., 2019. Comparison of structural and physicochemical properties of starches from five coarse grains[J]. Food Chem, 288: 283-290.

YANG YH, BAI KY, JARVIS DI et al., 2019. Xishuangbanna cucumber landraces and associated traditional knowledge [J]. Biodivers Sci, 27(7): 743-748. [杨云卉，白可喻，Devra Jarvis， 等，2019. 西双版纳黄瓜农家品种及其传统知识[J]. 生物多样性，27(7)：743-748]

YAO YH, TANG N, YANG SY et al., 2020. The physicochemical and digestive properties of common vetch starch[J]. J Chin Cereals Oils Assn, 35(12): 8-14. [姚月华，唐宁，杨舒莹，等，2020. 箭筈豌豆淀粉理化及消化特性研究[J]. 中国粮油学报， 35(12)：8-14.]

ZHAO XM, LI QM, SU XJ et al., 2018. Starch properties of new Guihuai cultivars of Chinese yam[J]. Food Sci, 39(18): 48-53. [赵小梅，李清明，苏小军，等，2018. 桂淮系列淮山淀粉性质的测定[J]. 食品科学，39(18)：48-53.]

ZHANG SH, QIN HB, HONG Y, 2008. Study on physical and chemical properties of fern root starch[J]. Food Sci, 29(9): 115-117. [张升晖，覃海兵，洪雁，2008. 蕨根淀粉理化性质研究[J]. 食品科学，29(9)：115-117.]

ZHOU DT, MA Z, YIN XX, et al., 2019. Structural characteristics and physicochemical properties of field pea starch modified by physical, enzymatic, and acid treatments. Food Hydrocolloid, 93: 386-394.

ZHU RW, PAN MY, LI SM et al., 2019. Determination and analysis of nutritional components and of yam bean and physicochemical property of *Pachyrhizus erosus* amylum[J]. Anhui Agric Sci Bull, 25(19): 9-11. [朱仁威，潘明英，李水梅，等，2019. 凉薯营养成分及其淀粉的理化特性的测定与分析[J]. 安徽农学通报，25(19)：9-11.]

ZHAI K, QIN HB, HONG Y, 2008. Study on physico-chemical properties of konjac starch[J], Food Sci, 29(9): 59-61. [翟琨，覃海兵，洪雁，2008. 魔芋淀粉理化性质研究[J]. 食品科学，29(9)：59-61.]

ZHAO Q, YUE XX, MAO DR et al., 2005. Comparative study of physical properties of four kinds of commonly used starches[J]. Food Mach, 21(1): 22-24. [赵全，岳晓霞，毛迪锐，等， 2005. 四种常用淀粉物理性质的比较研究[J]. 食品与机械，21(1)：22-24.]

ZHANG LW, JU X, LI XX et al., 2021. Physicochemical properties and their correlation of starches from eight sweet potato cultivars[J]. Sci Technol Food Ind, 42(4): 26-32. [张令文，琚星，李欣欣，等，2021. 8 个品种甘薯淀粉的理化性质及其相关性分析[J]. 食品工业科技，42(4)：26-32.]

ZHANG YH, LU QY, 2015. Influence of the variety and character of starch on wet fresh noodle

quality[J]. Food Ind, 36(4): 161-164. [张豫辉，陆启玉，2015. 淀粉种类及性质对鲜湿面条品质的影响[J]. 食品工业，36(4)：161-164.]
ZHOU M, SHI YX, BAO XH, et al., 2019. Preliminary ethnobotanical study on edible “Tangli” flower (genus *Pyrus*) in Puer, Yunnan[J]. Guihaia, 39(3): 336-345. [周敏，施银仙，鲍晓华，等，2019. 云南普洱可食用棠梨花的民族植物学初步研究[J]. 广西植物，39(3)：336-345.]
ZHOU XL, ZHOU YM, XIAO WY, 2009. Gelatinization properties of common and tartary buckwheat starches[J]. Food Sci, 30(13): 48-51. [周小理，周一鸣，肖文艳，2009. 荞麦淀粉糊化特性研究[J]. 食品科学，30(13)：48-51.]